

Особенности расчета индивидуального риска с учетом сезонного фактора

В. С. Гасилов¹, О. А. Тучкова¹✉, Л. И. Хайруллина¹, Ю. И. Сагитдинов¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия, e-mail: touchkova-o-a@mail.ru

Поступила в редакцию: 25.03.2025 г.; после доработки: 09.04.2025 г.; принята в печать: 15.04.2025 г.

Аннотация – Сезонные колебания и факторы оказывают значительное влияние на различные сферы деятельности современного предприятия. Понимание этих факторов позволяет более точно оценивать производственные риски и принимать обоснованные решения. Сезонные факторы в России, учитывая её размеры и разнообразие климатических зон, оказывают существенное влияние на деятельность опасных производственных объектов (далее - ОПО), а в условиях глобальных изменений климата и экономической нестабильности они становятся все более значимыми при эксплуатации ОПО. В этой связи необходим более гибкий адаптивный подход к оценке рисков, что создает потребность в исследовании и внедрении новых расчетных методик. В последние годы наблюдается рост интереса к интеграции сезонного фактора в риск-менеджмент. Это создает возможность для дальнейших исследований и обмена опытом, поэтому исследование особенностей расчета индивидуального риска с учетом сезонного фактора является актуальным как для теоретического понимания, так и для практического применения в различных отраслях. В статье рассматриваются ключевые аспекты и методологические подходы к расчету индивидуального риска с учетом сезонных колебаний температуры. Авторы анализируют существующие подходы для расчета индивидуального (потенциально-территориального) риска и отмечают, что указанные методы справедливы для технологических процессов, которые проводятся при температуре выше максимальной температуры воздуха в соответствующей климатической зоне, а для производств, технологический процесс которых проводится при температуре окружающей среды, подобный подход дает сильно завышенный результат, что приводит к излишним материальным затратам при проектировании и новом строительстве ОПО. Поэтому для производств, технологический процесс которых проводится при температуре окружающей среды, индивидуальный (потенциально-территориальный) риск предлагается рассчитывать с учетом сезонного фактора. Такая интеграция анализа влияния сезонного фактора в систему управления рисками повысит эффективность принятия решений и позволит более точно прогнозировать потенциальные угрозы.

Ключевые слова: сезонные факторы, индивидуальный риск, управление риском, загрязнение окружающей среды.

Peculiarities of calculation of individual risk taking into account seasonal factor

Vladislav S. Gasilov¹, Oksana A. Tuchkova¹✉, Liaisan I. Khairullina¹, and Yuldash I. Sagitdinov¹

¹Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia,
e-mail: touchkova-o-a@mail.ru

Received: March 25, 2025; Revised: April 9, 2025; Accepted: April 15, 2025

Abstract – Seasonal fluctuations and factors have a significant impact on various spheres of activity of a modern enterprise. Understanding these factors allows for a more accurate assessment of production risks and making informed decisions. Seasonal factors in Russia, given its size and diversity of climatic zones, have a significant impact on the operations of hazardous production facilities (hereinafter - HPF), and in the context of global climate change and economic instability, they are becoming increasingly significant in the operation of HPF. In this regard, a more flexible adaptive approach to risk assessment is required, which creates a need for research and implementation of new calculation methodologies. In recent years there has been a growing interest in integrating the seasonal factor into risk management. This creates an opportunity for further research and exchange of experience, so the study of the peculiarities of calculating individual risk taking into account the seasonal factor is relevant for both theoretical understanding and practical application in various industries. The article discusses the key aspects and methodological approaches to the calculation of individual risk taking into account seasonal temperature fluctuations. The authors analyse existing approaches to calculate individual (potential-territorial) risk and note that these methods are valid for technological processes, which are carried out at temperatures above the maximum air temperature in the corresponding climatic zone, and for industries, the technological process of which is carried out at ambient temperature, such an approach gives highly overestimated results, which leads to unnecessary material costs in the design and new construction of GRO. Therefore, it is proposed to calculate the individual (potential-territorial) risk taking into account the seasonal factor for production facilities, the technological process of which is carried out at ambient temperature. Such integration of the seasonal factor impact analysis into the risk management system will increase the efficiency of decision-making and allow more accurate forecasting of potential threats.

Keywords: seasonal factors, individual risk, risk management, environmental pollution.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация современных опасных производственных объектов сопряжена с концентрацией на ограниченной производственной площадке (далее – площадка) значительного количества взрывопожароопасных и токсичных веществ, что, при определенных нештатных ситуациях (авариях), может привести к гибели людей (обслуживающего персонала промышленного объекта, жителей близлежащей селитебной территории), причинению материального ущерба, загрязнению окружающей природной среды.

В то же время на безопасную эксплуатацию ОПО значительное влияние оказывают сезонные факторы. Изменение метеорологических условий под влиянием сезонных факторов (ледяные дожди, сильные снегопады, низкие или

высокие температуры и т.п.) может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного характера (наводнения или ураганы), а также вызвать нарушения в работе систем электрообеспечения, связи, сигнализации, противоаварийной защиты с последующим возникновением ЧС техногенного характера (крупных аварий на технических устройствах ОПО).

Законодательство Российской Федерации предъявляет предприятиям, эксплуатирующим ОПО, требования по готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий ЧС. Это включает в себя наличие соответствующих планов, таких, как планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, планы по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, планы основных мероприятий по гражданской обороне (далее – ГО) и ЧС, а также обучение персонала действиям по сценариям указанных планов в случае ЧС.

При этом эксплуатация ОПО допускается только при условии, что индивидуальный риск в зданиях, сооружениях и на территории площадки не превышает допустимых значений.

Как видно из краткого обзора сезонные изменения влияют на множество аспектов – от климатических условий и состояния оборудования до поведения работников и экологической ситуации. Эффективное управление рисками требует интеграции данных о сезонности в процессы проектирования, оценки и мониторинга, а организации, эксплуатирующие ОПО, должны учитывать сезонные факторы при разработке и внедрении мер по обеспечению безопасности производства, чтобы минимизировать риски и обеспечить защиту работников от воздействия поражающих факторов при ЧС на технологических объектах с учетом зон разрушения и термического воздействия.

Законодательством Российской Федерации [1] определен порядок организации управления эксплуатацией ОПО в зависимости от значений риска, установленных в ходе анализа (далее – анализ риска), что является составной частью управления промышленной безопасностью.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Под анализом риска понимается процедура, включающая:

- идентификацию опасностей, сопутствующих реализации производственного процесса на ОПО;
- проведение процедуры оценки риска с применением методик, применяемых для определения расчетных величин риска на производственных объектах;
- сравнение результатов оценки риска (значения риска) с допустимыми значениями и разработка рекомендаций по уменьшению уровня риска (в случае необходимости).

Проведение процедуры оценки риска позволяет объективно сравнивать различные ОПО по уровням их опасности.

Оценка риска аварий при эксплуатации ОПО [1], а также применение риск-ориентированного подхода при осуществлении контрольно-надзорной деятельности [2, 3] является одной из наиболее обсуждаемых тем в научной литературе [4–7].

При оценке риска аварии на ОПО широкое применение получили методы качественного и количественного анализа риска.

При качественном анализе используют методы идентификации риска с использованием ключевых слов [8].

В качестве основных показателей, применяемых при количественной оценке риска, используются индивидуальный (потенциально-территориальный) риск, а в некоторых случаях и социальный риск [9].

Для ОПО при разработке декларации промышленной безопасности, документации по обоснованию безопасности ОПО преимущественно используются количественные методы анализа, по результатам которых приводится графическое отображение потенциально-территориального риска на площадке рассматриваемого объекта и прилегающей местности [1, 10].

При расчете индивидуального (потенциально-территориального) риска используют следующие подходы [11, 12]:

1) предполагается аварийная разгерметизация технологического оборудования на рассматриваемой площадке;

2) газовая и жидкая фазы из технологического блока выделяются в окружающее пространство;

3) площадь испарения жидкой фазы принимается исходя из конструктивных особенностей площадки;

4) в качестве расчетной температуры принимается наибольшая из двух возможных температур – максимальная температура воздуха в соответствующей климатической зоне [13] или температура веществ в технологическом процессе;

5) номенклатура показателей пожаровзрывоопасности веществ принимается на основании действующих стандартов [14] и справочной литературы [15];

6) на генеральный план площадки накладывается «сетка» (рис. 1) с определенным шагом и в каждой точке (x, y) рассчитывается индивидуальный (потенциально-территориальный) риск.

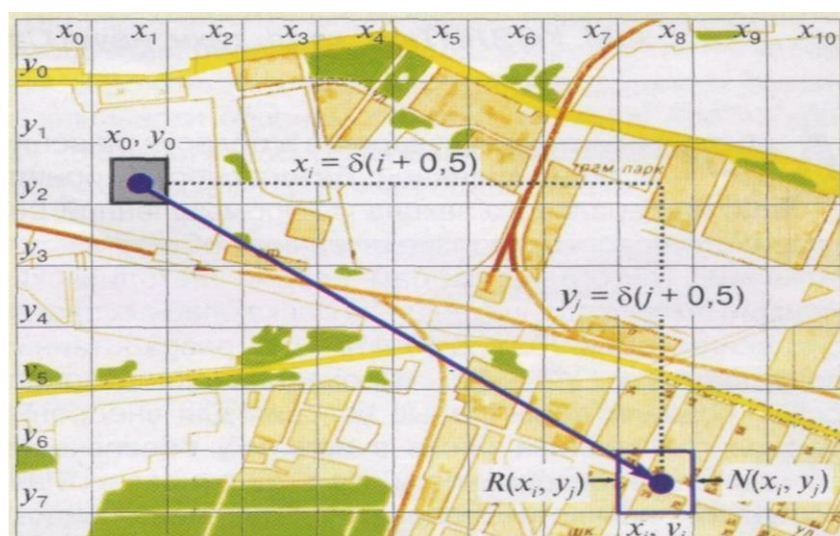


Рис. 1. Генеральный план производственной площадки.

Fig. 1. The general plan of the production site.

По действующим методикам [12, 16] индивидуальный (потенциально-территориальный) риск в точке (х, у) рассчитывается по формуле (1):

$$R_{\Sigma}(x, y) = \sum_j^n \lambda_j \cdot Q_j \cdot \varphi, \quad (1)$$

где $R_{\Sigma}(x, y)$ – индивидуальный (потенциально-территориальный) риск в точке (х, у), 1/год;

n – число сценариев аварий;

λ_j – частота реализации j -го сценария аварии, 1/год;

Q_j – вероятность поражения персонала при реализации j -го сценария аварии;

φ – вероятность присутствия персонала в точке воздействия поражающего фактора аварии (для расчета индивидуального риска);

$\varphi=1$ – для расчета потенциально-территориального риска.

В свою очередь вероятность поражения персонала (Q_j) по сценарию аварии со взрывом паровоздушной смеси определяется на основании пробит-функции (Pr), исходя из массы опасных веществ (m), испарившихся с поверхности разлива жидкой фазы [12, 16–20], и рассчитывается по формулам (2–8):

$$Pr = 5,0 - 0,26 \cdot \ln V, \quad (2)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3}, \quad (3)$$

$$\Delta P = P_0 \left(\frac{0,8 m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3 m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (4)$$

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \cdot m \cdot Z, \quad (5)$$

$$i = \frac{123 m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}, \quad (6)$$

$$m = W(t) \cdot S \cdot \tau, \quad (7)$$

$$W(t) = 10^{-6} \cdot \eta \cdot P \cdot \sqrt{M}, \quad (8)$$

где $W(t)$ – интенсивность испарения, кг/м²·с;

Pr – пробит-функция (таблица 1);

ΔP – избыточное давление взрыва в точке (х, у), Па;

P_0 – атмосферное давление, Па;

i – импульс фазы сжатия в точке (х, у), Па·с;

r – расстояние от эпицентра взрыва до точки на производственной площадке с координатами (х, у), м;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса, кг;

Q_0 – константа (4520 кДж/кг);

$Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания горючего вещества, кДж/кг;

Z – коэффициент участия горючего вещества во взрыве (при отсутствии данных коэффициент Z принимается равным 0,1);

η – коэффициент, зависящий от расчетной температуры и скорости движения воздуха;

P – давление насыщенных паров жидкой фазы при расчетной температуре, Па;

M – молярная масса, г/моль;

S – площадь поверхности разлива жидкой фазы, м²;

τ – время испарения, с.

Зависимость условной вероятности поражения человека от величины пробит-функции (Pr) представлена в таблице 1 [20].

Таблица 1. Зависимость условной вероятности поражения человека от величины пробит-функции (Pr)

Table 1. Dependence of the conditional probability of human injury on the value of the probit function (Pr)

Условная вероятность поражения, %	Величина пробит-функции Pr									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

7) по результатам расчетов приводится графическое отображение потенциального территориального риска на площадке (рис. 2).

Однако такой подход справедлив для технологических процессов, которые проводятся при температуре выше максимальной температуры воздуха в соответствующей климатической зоне.

Для производств, технологический процесс которых проводится при температуре окружающей среды (например, товарные парки хранения жидких углеводородов), подобный подход дает сильно завышенный результат, что приводит к излишним материальным затратам при проектировании и новом строительстве ОПО. Это обусловлено тем, что реализация сценариев аварий, связанных с горением паров легковоспламеняющихся жидкостей, размер распространения поражающих факторов аварий, а также размер зон распределения потенциального территориального риска на производственной

площадке существенно зависят от температуры веществ, а при температуре веществ ниже нижнего температурного предела распространения пламени [14] реализация подобных сценариев аварии совсем невозможна.

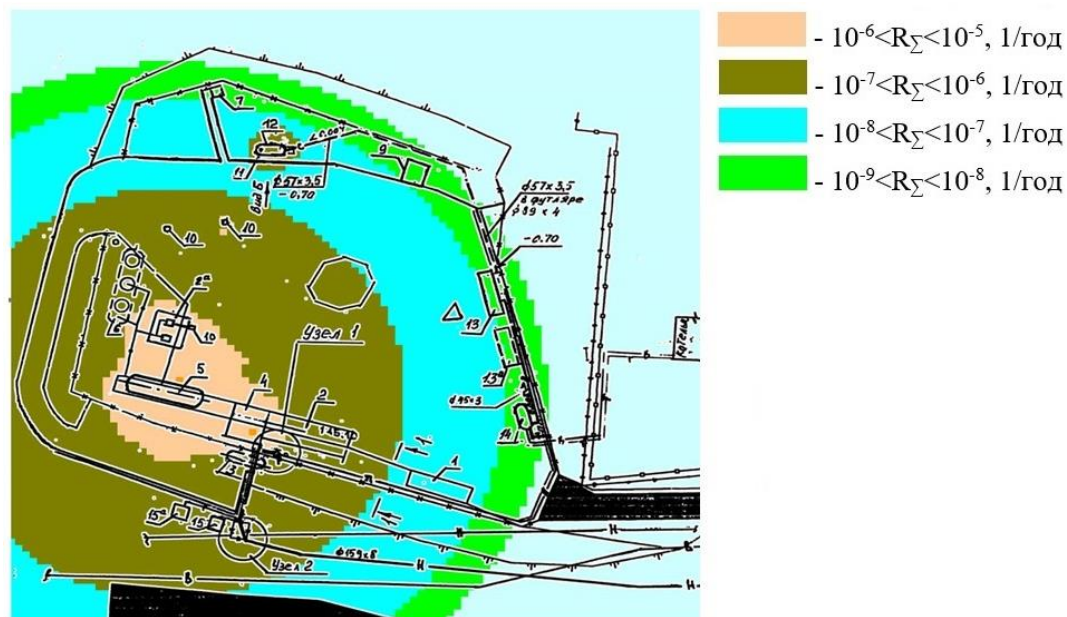


Рис. 2. Графическое отображение потенциального территориального риска на производственной площадке.

Fig. 2. Graphical representation of the potential territorial risk at the production site.

По действующим методикам определения расчетных величин риска [12, 16, 20] размер зон действия поражающих факторов аварии, вероятность поражения персонала (Q_j) рассчитываются исходя из массы опасных веществ (m), испарившихся с поверхности разлива жидкой фазы, определяемой по формулам (2–8), которая пропорциональна давлению насыщенных паров (P).

В свою очередь давление насыщенных паров (P) является функцией температуры и может быть рассчитано с использованием пособия по применению СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [21] по формуле Антуана (9):

$$\lg P = A - \frac{B}{t + C_A}, \quad (9)$$

где P – давление насыщенного пара, кПа;

A , B , C_A – константы формулы Антуана;

t – температура, °C.

Из формулы Антуана следует, что с понижением температуры (t) величина давления насыщенных паров (P) уменьшается, что приводит к снижению испаряемости жидкой фазы (рис. 3), уменьшению общей массы опасных веществ (m), испарившихся с поверхности разлива жидкой фазы за определенное время (τ), участвующих в аварии, и, как следствие, приводит к уменьшению масштаба аварии, что, в свою очередь, приводит к уменьшению

величины индивидуального (потенциально-территориального) риска (R_{Σ}) в конкретной точке (x, y) на производственной площадке.

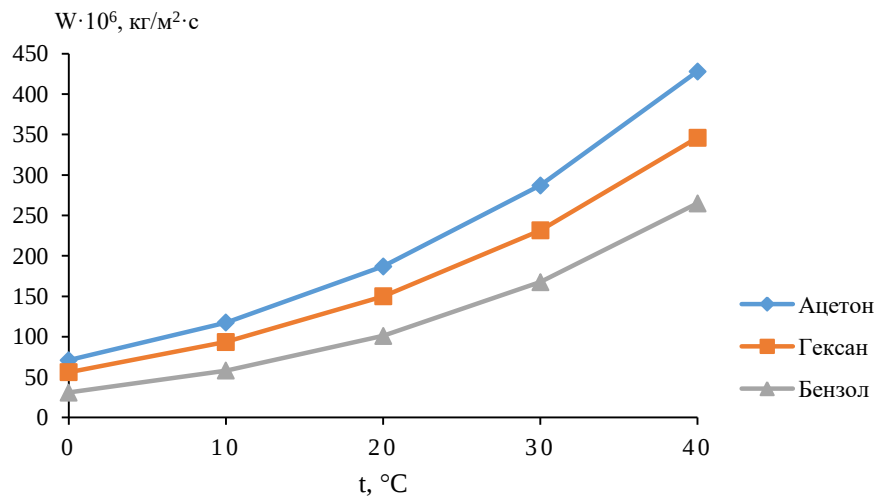


Рис. 3. Зависимость интенсивности испарения $W(t)$ от температуры (t).

Fig. 3. The dependence of the evaporation rate $W(t)$ on the temperature (t).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, так как разница температур в теплый и холодный периоды года в некоторых регионах РФ могут составлять более 100°C [13], то для производств, технологический процесс которых проводится при температуре окружающей среды, индивидуальный (потенциально-территориальный) риск предлагается рассчитывать с учетом сезонного фактора (Se_i) по формуле (10):

$$R_{\Sigma}(x, y) = \sum_i^k \cdot \sum_{ij}^n \cdot Se_i \cdot \lambda_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot \varphi, \quad (10)$$

где $R_{\Sigma}(x, y)$ – индивидуальный (потенциально-территориальный) риск в точке (x, y), 1/год;

n – число сценариев аварий;

k – количество промежутков времени в году с одинаковым температурным показателем;

Se_i – сезонный фактор (относительная частота реализации в течение года i -го промежутка времени с одинаковым температурным показателем);

λ_{ij} – частота реализации j -го сценария аварии, при Se_i сезонном факторе, 1/год;

Q_{ij} – вероятность поражения персонала при реализации j -го сценария аварии, при Se_i сезонном факторе;

φ – вероятность присутствия персонала в точке воздействия поражающего фактора аварии (для расчета индивидуального риска);

$\varphi=1$ – для расчета потенциально-территориального риска.

Такой подход к расчету индивидуального (потенциально-территориального) риска позволит более корректно оценить риск эксплуатации ОПО. А внедрение комплексного анализа индивидуального риска с учетом сезонных факторов может стать одним из направлений применения системы оценки и управления рисками на ОПО, позволит создать более гибкую систему

идентификации, анализа и прогнозирования рисков аварий для всех участников производственного процесса.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Федеральный закон от 26 декабря 2008 года № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 года № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
4. Федосов А.В., Закирова З.А., Абдрахимова И.Р. (2018). Перспективы применения риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности. *Нефтегазовое дело*, 1, 145–161.
5. Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Николаенко О.В. (2017). Об установлении допустимых уровней риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мероприятий в обосновании безопасности опасного производственного объекта нефтегазового комплекса. *Безопасность труда в промышленности*, (12), 51–57. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2017-12-51-57>.
6. Борно О.И., Семенов А.Ю., Илюшин Д.Б., Квашнин Д.Г. (2015). Критерии допустимого риска при декларировании промышленной безопасности и обосновании безопасности опасного производственного объекта. *Нефтегазовое дело*, (2), 446–456.
7. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска. (2004). *Безопасность труда в промышленности*, (5), 11–14.
8. ГОСТ Р 27.012-2019 (МЭК 61882:2016). Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP).
9. Жуков И.С., Лисанов М.В., Самусева Е.А. (2020). Критерии допустимого социального риска при авариях на опасных производственных объектах. *Безопасность труда в промышленности*, (5), 79–86. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-5-79-86>.
10. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 октября 2020 года № 414 «Об утверждении Порядка оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечня включаемых в нее сведений».
11. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 533 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС Российской Федерации 26.06.2024 № 533).
13. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».

14. ГОСТ 12.1.044-2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
15. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2-х книгах; под ред. А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко. М.: Химия, 1990. 496 с.
16. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 03.11.2022 № 387).
17. Богач В.В., Виноградов В.Ю., Хайруллина Л.И., Тучкова О.А. (2024). Особенности определения массы испарения веществ из растворов при расчете экологического вреда окружающей среде. *Химическая безопасность*, 8(1), 8–16.
<https://doi.org/10.25514/CHS.2024.1.26001>.
18. Галеев А.Д., Поникаров С.И. (2010). Моделирование испарения нефти с поверхности аварийного пролива. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 7, 13–17.
19. Тучкова О.А., Гасилов В.С., Мустафина Т.З. (2017). Разливы нефти и нефтепродуктов. Часть 2. Расчет количества испарившегося вещества. *Вестник Технологического университета*, 20(5), 44–46.
20. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 08.03.2025).
21. Пособие по применению СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: ВНИИПО, 2014. 147 с.

References:

1. On industrial safety of hazardous production facilities. Federal law of the Russian Federation of July 21, 1997, No. 116-FL (in Russ.).
2. On the protection of the rights of legal entities and individual entrepreneurs in the exercise of state control (supervision) and municipal control. Federal law of the Russian Federation of December 26, 2008, No. 294-FL (in Russ.).
3. On the application of a risk-based approach in the organisation of certain types of state control (supervision) and the introduction of amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation. Resolution of the Government of the Russian Federation of August 17, 2016, No. 806 (in Russ.).
4. Fedosov, A.V., Zakirova, Z.A., & Abdrahimova, I.R. (2018). Prospects for risk-based approach usage in industrial safety sphere. *Neftegazovoe delo = Oil and gas business*, 1, 145–161 (in Russ.).
5. Grazhdankin, A.I., Pecherkin, A.S., & Nikolaenko, O.V. (2017). On the establishment of the tolerable risk levels of accident for assessment of compensatory measures sufficiency in substantiation of safety of hazardous production facility of oil and gas complex. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*, (12), 51–57 (in Russ.).
<https://doi.org/10.24000/0409-2961-2017-12-51-57>.
6. Borno, O.I., Semenov, A.Ju., Iljushhin, D.B., & Kvashnin, D.G. (2015). Criteria of the admissible risk during the declaring of industrial safety and justification of safety of the hazardous production facility. *Neftegazovoe delo = Oil and gas business*, (2), 446–456 (in Russ.).
7. Lisanov, M.V. On technical regulation and acceptable risk criteria. (2004). *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*, (5), 11–14 (in Russ.).
8. GOST (State Standard) 27.012-2019 (MJeK 61882:2016). Reliability in engineering. Hazard and serviceability analyses (HAZOP) (in Russ.).
9. Zhukov, I.S., Lisanov, M.V., & Samuseva E.A. (2020). Criteria for tolerable social risk in case of accidents at hazardous production facilities. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti =*

- Occupational Safety in Industry*, (5), 79–86 (in Russ.). <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2020-5-79-86>.
10. Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of October, 16, 2020, No. 414 “On Approval of the Procedure for drawing up a declaration of industrial safety of hazardous production facilities and the list of information to be included therein” (in Russ.).
 11. Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of December 15, 2020, No. 533. “On the approval of federal norms and rules in the field of industrial safety “General rules of explosion safety for explosion- and fire-hazardous chemical, petrochemical and oil refining production facilities” (in Russ.).
 12. Methodology for determining estimated fire risk values at production facilities. Approved by the order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation on 26.06.2024, No. 533 (in Russ.).
 13. SP 131.13330.2020 “SNiP 23-01-99* Building climatology” (in Russ.).
 14. GOST (State Standard) 12.1.044-2018. System of labour safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination (in Russ.).
 15. Fire and explosion hazards of substances and materials and means of extinguishing them: in 2 books; pod red. A.N. Baratova, A.Ja. Korol'chenko. M.: Himija, 1990. 496 p. (in Russ.).
 16. Safety Manual “Methodological basis for hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production facilities”. Approved by the order of the of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on 03.11.2022, No. 387 (in Russ.).
 17. Bogach, V.V., Vinogradov, V.Ju., Hajrullina, L.I., & Tuchkova, O.A. (2024). Features of determining the mass of evaporation from solutions when calculating environmental damage to the environment. *Khimicheskaya Bezopasnost' = Chemical Safety Science*, 8(1), 8–16 (in Russ). <https://doi.org/10.25514/CHS.2024.1.26001>.
 18. Galeev, A.D., & Ponikarov, S.I. (2010). Modeling of oil evaporation from the surface of an accidental spill. *Environmental protection in the oil and gas complex*, 7, 13–17 (in Russ.).
 19. Tuchkova, O.A., Gasilov, V.S., & Mustafina, T.Z. (2017). Oil and petroleum product spills. Part 2. Calculation of the amount of vaporized substance. *Bulletin of the Technological University = Herald of Technological University*, 20(5), 44–46 (in Russ.).
 20. SP 12.13130.2009. Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazards. <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (accessed 08.03.2025) (in Russ.).
 21. Application Manual SP 12.13130.2009. Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazards. M.: VNIPO, 2014. 147 p. (in Russ.).